应激恢复的测量指标、影响因素及其对身心健康的影响*

马欣欣，念靖晴，李金津，谭江，张禹，罗禹

贵州师范大学心理学院，贵州师范大学心理学院应激与认知实验室，贵阳，550025

摘　要　应激包括反应和恢复两个主要阶段。应激恢复测量主要是通过曲线下面积，曲线拟合，平均恢复率，群体药代动力学模型等方法对恢复过程进行量化。应激恢复与人们身心健康密切相关，恢复缓慢会对身心健康产生不利影响。人格特质、环境、睡眠、认知模式等因素会影响应激恢复。未来研究可以系统考察认知模式对应激恢复的影响，关注不同恢复模式个体的身心健康状态。

关键词　急性应激　应激恢复　SNS 系统　HPA 轴　曲线拟合　曲线下面积

1 引言

“没有应激就没有生活”——（Selye—H，1950）。

日常生活中，人们会面临各种各样的应激源导致应激，比如：考试、面试、亲人逝去、工作压力、躯体疾病等。应激是人们在面对外界环境中的各种不利因素或有害刺激时，产生的一系列非特异性的心理生理变化总和（罗跃嘉等 2013)。应激激活 SNS 系统和 HPA 轴（段海军，等 2017），SNS 快速激活，数秒内就可以发生；而 HPA 轴激活释放糖皮质激素(glucocorticoid,GC)是通过体液方式，反应较慢，30 分钟左右达到顶峰（王玮文，林文娟.2003；Eefje,et al.,2019）。SNS 首先会激活杏仁核，并通过下丘脑迅速激活肾上腺髓质，释放儿茶酚胺(catecholamine, CA)，包括肾上腺素和去甲肾上腺素，从而引起交感神经的兴奋状态，表现为心率、血压、皮肤电水平的升高、瞳孔的增大，以及唾液中 α 淀粉酶(Salivary Alpha Amylase,SAA)浓度升高，加快机体代谢分解，为应对应激刺激储备能量(Villarejo,et al.,2012)。HPA 的激活使下丘脑向血液中释放促肾上腺皮质激素释放激素(Corticotropin-Releasing Hormone, CRH)，进而使垂体前叶分泌促肾上腺皮质激素(Adrenocorticotropic Hormone,ACTH)，最终导致肾上腺皮质释放出大量糖皮质激(Glucocorticoids,GC)，在人类中

* 贵州省研究生教育创新计划项目“应激（或压力）反应与恢复模式的识别与构建及其对身心健康的影响”（黔教合 YJSKYJJ〔2021〕107）资助

通信作者：罗禹, E-mail: yuluo@gznu.edu.cn

主要是皮质醇(Cortisol)。

应激包括反应和恢复两个阶段，反应阶段是指人们的生理以及心理指标从基线上升到峰值的过程，恢复阶段是指生理和心理参数从最高点恢复到基线水平的过程（Linden W et al.,1997；Moseley J V&Linden W，2006;Schlotz et al.,2011)。先前研究中，对应激反应的关注远远多于应激恢复。有研究显示，在应激与心血管疾病的关系中，应激恢复至少与应激反应同等重要(Glynn et al.,2002; Linde et al.,1997; McEwen，1998; Schwartz et al.,2003)。在遭遇应激后，能否以及多久从应激事件中摆脱出来直接影响人们的长期身心健康(Kate et al., 2018)。快速的应激恢复反映了人们对应激事件的有效应对（Freeman 1939），如果不能从应激中恢复，SNS 系统和 HPA 轴持续高度激活，会损害身心健康（William et al.,2006）。恢复较慢会导致个体情绪失调，进而导致抑郁、焦虑等心理问题(Ottaviani et al., 2016;Trick, Watkins, Windeatt, & Dickens, 2016)（Friederg et al.,2007）。本文对近年来关于应激恢复相关的文献进行了梳理，介绍了应激恢复的计算方法，对身心健康的影响，影响应激恢复的因素，并提出了应激恢复未来的研究方向。

2 应激恢复及其测量方法

2.1 应激恢复

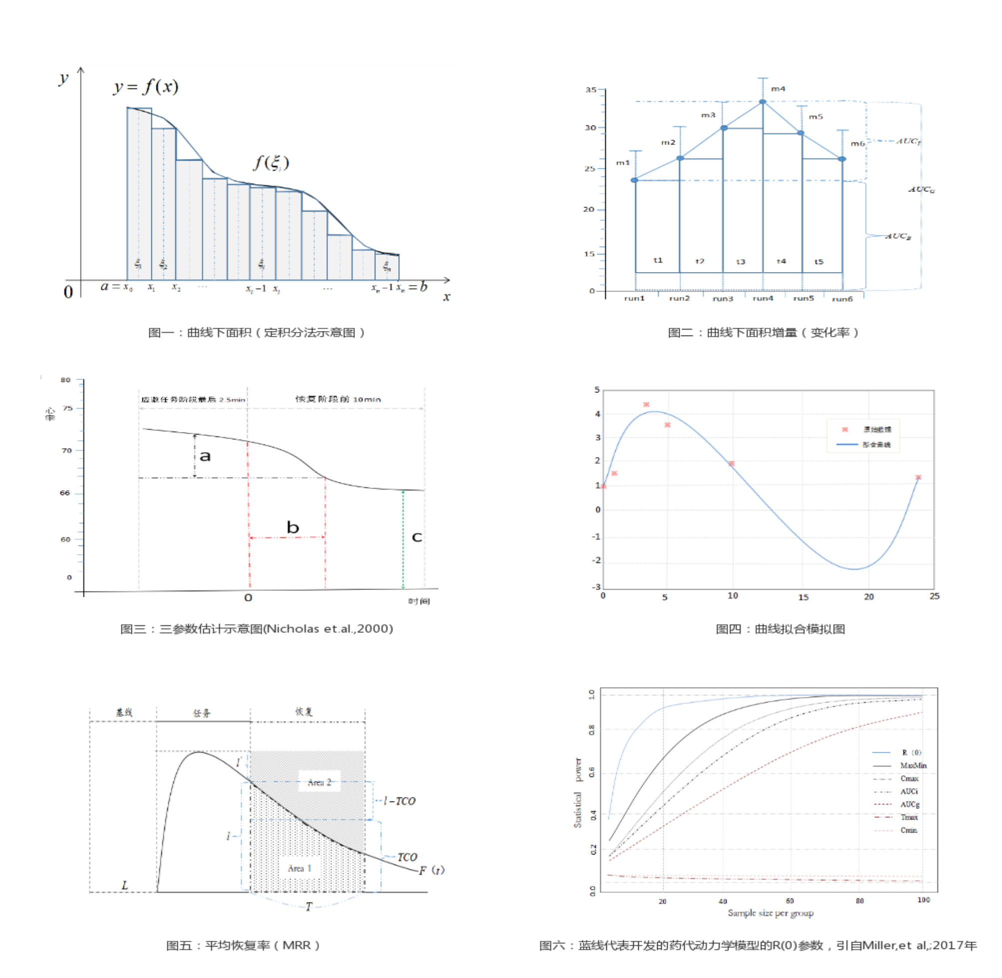
应激恢复是指反应阶段结束后，生理和心理参数从最高点向基线水平恢复的过程。Seley 关于应激的一般性适应综合征(the general adaptation syndrome, GAS)观点认为应激包括警觉期(alarm stage) 、抵抗期(resistance stage)、衰竭期（exhaustion stage）三个阶段（Selye，1950）。警觉期是动员阶段，人们对刺激产生直接和代偿反应，进行适应性防御。抵抗期是反应阶段，人们在产生代偿反应之后肾上腺素分泌增加，出现心率加速、呼吸加快、血压升高、血糖水平上升等变化，人们充分调动能量应对变化刺激。衰竭期是适应性疾病产生阶段，也就是刺激停止后的恢复阶段，应激反应逐渐消失，体内环境恢复到刺激前的基线水平。

McEwen 的非稳态负荷观点认为，稳态(allostasis)是指生存所必需的重要生理参数(例如 PH 值、体温、氧气张力等)保持在一定范围内，非稳态(allostatic state)是人们在面对环境变化时，生理调节系统偏离正常操作水平（稳态）的一种状态(McEwen & Wingfield, 2003)。根据外界环境需求，各种生理系统如 HPA 轴、SNS 系统和免疫系统等产生变化，帮助人们保持稳态。与稳态的生理参数必须保持在一定范围内相比，非稳态的生理参数如荷尔蒙、心率、血压、免疫系统细胞因子，以及神经递质和激素等，可以在更大的范围里波动和变化，以帮助人们应对挑战，对环境变化做出适应性反应。当非稳态变化太频繁或是调节无效时，这一

适应性过程就会对身体造成损耗，称为非稳态负荷(allostatic load) (McEwen & Stellar,1993; McEwen&Wingfield, 2003)。McEwen 等人指出了 4 种产生非稳态负荷的情况(McEwen,1998, 2002; McEwen & Wingfield, 2003)，其中一种是持续反应(delayed response)，在应激结束后不能很好的恢复到基线。

2.2 应激恢复的测量方法

计算应激恢复的方式主要有曲线下面积（Pruessner et al.,2003;Fekedulegn et al.,2007；任曦 等，2019）、曲线拟合(Nichlas,et al.,2000；Key et al.,2008)、变化率（Soeda et al.,2012;Jennifer et al.,2017）、平均恢复率（Yukihiro Sawada • Yuichi Kato 2009，2011），以及最近提出的群体药代动力学模型(population pharmacokinetics model; Miller,et al.,2017)等。不同的计算方式对 SNS 系统和 HPA 轴恢复的计算准确性不同（Yukihiro Sawada • Yuichi Kato 2009，2011）。



图一：曲线下面积（定积分法示意图）

图二：曲线下面积增量（变化率）

图三：三参数估计示意图(Nicholas et.al.,2000)

图四：曲线拟合模拟图

图五：平均恢复率（MRR）

图六：蓝线代表开发的药代动力学模型的R(0)参数，引自Miller,et al,2017年

2.2.1 曲线下面积

曲线下面积(Area Under the Curve, AUC）计算恢复是内分泌学和神经科学中的一种常

用方法，它包含随时间的推移进行重复测量的信息（Pruessner et al.,2003）。曲线下面积方法可对心率、心率变异性、皮质醇的恢复进行计算，主要采用梯形法、定积分法。曲线下面积包括曲线下总面积（AUC_G），曲线下面积增量（AUC_I）。

梯形法比较适用于间断数据，AUC_G 与 AUC_I 的计算公式如下：

$$AUC_G = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{(m_{i+1} + m_i)t_i}{2} \quad (1)$$

$$AUC_I = \left(\sum_{i=1}^{n-1} \frac{\left(m_{(i+1)} + m_i\right)t_i}{2} \right) - m_1 \sum_{i=1}^{n-1} t_i \quad \mathbf{(2)}$$

在公式中，n 是指单个被试所测数据的总个数，例如在 5 个时间点测量 5 数据点，则 n=5；m_i 指的是第 i 个数据值，i=1,2,3,......,n，如 m_2 是第二个数据值；t_i 是指两个相邻数据测量的时间间隔。

积分法比较适用于连续数据或进行曲线拟合后的间断数据，AUC_G 与 AUC_I 的计算公式如下：

$$AUC_G = \int_a^b f(x)dx \quad （3）$$

$$AUC_I = \int_a^b f(x)dx - m_1(b-a) \quad （4）$$

公式（3）中，a 是指测量基线数据的时间或测量第一个数据的时间；b 是指测量最后一个数据的时间；f(x)是指连续数据或曲线拟合后的曲线方程函数。公式（4）中，m_1 是指测量的第一个数据值，而其余的参数均与公式(3)中的相同。

对于所有后续测量都大于基线值的模式，AUC_I 始终等于基线值以上的曲线下面积。当一个或多个后续测量值小于基线值时，AUC_I 就不是基线值以上的曲线下面积。这时 AUC_I 是两个区域的差值，即基线值以上的曲线下面积减去基线下的面积，这也是 AUC_I 的通用定义。对于所有后续测量值都小于基线值的情况，AUC_I 取负值（Fekedulegn et al.,2007）。在反应阶段，斜率通常为正值，且 AUC_I 的大小在随时间变化的模式下与斜率呈正相关；在恢复阶段，斜率通常为负值，且 AUC_I 的大小在随时间变化的模式下与斜率的绝对值呈负相关（Soeda et al.,2012;Jennifer et al.,2017）。斜率的正负方向表示生理指标量的增加和减少，斜率的大小可以反映应激测量随时间变化的模式或斜率的其他汇总指标的显著相关性。在针对应激恢复的测量中，通常以应激后的峰值作为区分应激反应和应激恢复阶段的指标。Lopez-Duran 和同事(2014)将峰值初始化为应激后的第一个反应样本值，如果任何后续样本值高于先前定义的峰值 10%，则选择该样本值作为峰值（Lopez-Duran

et al.,2014）。基于此，当在应激恢复研究中采用 AUC 方法时，需以峰值和最后一个测量值作为计算起点和终点；而采用 AUC_I 方法时，除了以峰值和最后一个测量值作为计算起点和终点外，还应以应激前的第一个测量值作为基线值进行计算，这时应激恢复阶段的 AUC_I 值与恢复能力应该是呈反比关系，即 AUC_I 越大，个体的恢复弹性越差。

AUC 的使用简化了将多元数据转换为单变量统计分析的空间，特别是在多元数据数量较大且有必要尽可能总结数据所含信息的情况下，这种方法还可以减少统计对比组的数量，从而最大限度地减少需要调整的显著性水平。从统计学和生物学角度来看，AUC 的使用都是有利的。从统计上讲，它通过从多个度量中创建单维度响应来简化分析，并且在不牺牲多个度量中包含的信息的情况下增加了分析能力。从生物学上讲，它提供了一种方法，将多元数据测量中包含的信息(强度和灵敏度)合并到统计分析中。

2.2.2 曲线拟合

曲线拟合（Curve-fitting estimates），又称模态参数估计，是指选择适当的曲线类型来拟合所测的数据，并用拟合得到的曲线方程分析变量间的关系。在恢复的研究中具体是用数学方程来描述恢复过程，具有更大的可靠性、对数据损害较小、可以同时提供几个参数的估计(Christenfeld,et al.,2000 ； Key et al.,2008) 。曲线拟合计算公式：

$$\text{measure}(\text{time}) = \frac{a}{1+0.026e^{(7.33*\text{time}/b)}} + c \quad (5)$$

在上述公式中，参数“a”表示测量值在应激峰值水平和任务结束后的恢复水平（恢复期最后的测量值）之间降低的量；参数“b”表示测量值从应激峰值水平下降到恢复水平所需的时间；参数“c”表示恢复期最后的测量值，而公式中的“time”表示从应激源结束到测量平均值第一次达到或低于基线水平时所经过的时间。在应激恢复中，拟合值越大，应激恢复能力越好。拟合曲线允许同时评估同一动态过程的几个不同方面，例如恢复的总量和速度；

Christenfeld 等人对比恢复时间、在固定时间点的恢复、总遗留以及曲线拟合，探讨哪一种方法能更好描述应激反应和恢复的动态模式。他们要求 18 名健康被试经历 10 分钟的基线、3 分钟的应激任务和 20 分钟的恢复，期间测量心率和血压。结果表明曲线拟合能很好地测量心血管的恢复过程（Christenfeld et.al.,2000）。曲线拟合评估心血管应激恢复有以下优点：一是拟合曲线可以捕捉到应激整个过程的动态性；二是拟合曲线考虑了所有数据；三是拟合曲线允许同时评估同一动态过程的几个不同方面，例如恢复的总量和速度。

2.2.3 平均恢复率

平均恢复率（Mean recovery rate，MRR）指给定时间内的瞬时恢复率的均值，MRR 与曲线下面积相关，是减去基线水平后的任务阶段和恢复阶段的平均恢复水平（Yukihiro Sawada ， Yuichi Kato 2009，2011）。

MRR 的计算公式为：$MRR = (l - TCO)/l = (l - \Phi l)/l = 1 - \Phi$

Yukihiro 等人（2009）将 MRR 与总遗留(Total Carryover ,TCO）和曲线下面积(Area under curve，AUC）进行比较，预测这三种恢复计算方法是否会受遗留效应的影响。遗留效应是指……通过理论公式预测，每种应激恢复计算方法在处理遗留效应时都有各自的特点。曲线下面积的优点在于它从任务结束到恢复之间的过渡过程，而在这项研究中，重点是与曲线下面积相关的三种恢复措施(TCO、MRR 和 AUC)，这些是即使在恢复失败的情况下也可以进行计算的恢复措施。然而，他们并没有采取实证研究来证明它们是否可以不受遗留效应的影响。

2011 年 Yukihiro Sawada 等人采用平均恢复率(MRR)来克服由于遗留效应的影响，以 18 名参与者在心算前、心算中、心算后的收缩压数据为样本，见图五。

图五中 L 代表基线期，T 是指定的恢复阶段，Area 1 和 Area 2 为总恢复函数 F(t)之下和之上的点状和阴影区域,$F(t)$为一般恢复函数；l 表示最终反应，l' 为最大反应与最终反应之差。

0 和 1 分别作为预应激基线和对应激源的最后反应性，恢复函数 $f(t)$（$t \geq o$，从应激任务阶段解释开始）被定义为：$f(0)=1; f(t) \to 0 \text{当} t \to \infty$。在恢复条件下，$f(t)$ 可以看作是固定在起点和终点的任意函数$(t, f(t)) = (0,1)$，在应激刺激结束时增加到(0，1)后，恢复过程开始向终点下降（∞,1)，因此 $f(t)$ 并不会受到最后反应性的影响。 将 $f(t)$ 转化为一般恢复函数 $F(t)$。总遗留量(TCO)表示为：

$$TCO = Area1/T = \int_0^T (F(t) - L)\, dt/T$$

$$= \int_0^T (lf(t))dt/T = \Phi l$$

从数学理论上来说，MRR 是有效的，但是我们还不清楚 MRR 提供了什么样的生理和心理信息，其使用范围还需要进一步的研究证明。

2.2.4 群体药代动力学（混合效应随机微分方程）模型 population pharmacokinetics (mixed-effects stochastic differential equation)model

过去研究中，人们使用如曲线下面积以及它的各种变式等方法来描述应激中的皮质醇的变化，但是这些方法并不能推断出皮质醇分泌的几个不同的生理过程：一是与应激相关的皮质醇分泌（反应阶段）；二是皮质醇的消退代谢（恢复阶段）；三是在应激后的皮质醇分泌延迟（反应延迟）；四是与应激无关的皮质醇分泌。

为了评估这些生理过程与最终观察到的皮质醇之间的关系，Miller 等人开发了群体药代动力学(混合效应随机微分方程，mixed-effects stochastic differential equation)模型（Miller,et al.,2017）。该模型的计算公式为：

……他们认为代表应激反应性最好指标是个体皮质醇浓度的最大值与最小值之差(MinMax)，代表应激恢复最好的指标是皮质醇的最小浓度(C_{min})，分泌延迟和与压力无关的皮质醇波动最好分别由浓度最大值(T_{max})和初始浓度(C_{init})的时间来反映。

Miller 和同事使用前人研究的数据对模型进行了验证。研究使用两项前人研究的皮质醇数据，这两项研究都采用 TSST 诱发应激，但皮质醇的采样频率不同。第一项研究每个被试取 18 个样本，在基线期和恢复期取样频率为 10min/次，任务阶段 2min/次；第二项研究每个被试取 7 个样本，取样频率为 10min/次。使用群体药代动力学模型对以上数据进行计算，表明该模型非常好地拟合了数据(R2 = 97-99%)。

3 应激恢复对身心健康的影响

应激源消失后，应激反应能否恢复到应激前的状况与人们健康状况密切相关，应激恢复程度较差是应对环境变化需求适应不良的表现（Abercrombie et al.,2006）。人们遭遇应激后，个体难以恢复到应激前的状态，身心健康会受到损害 (Brosschot et al.,2005; Pieper et al.,2006;Linden et al.,1997;Brosschot&Thayer,1998;Selye,1951;Ursin & Eriksen,2004; Stefan Branth et al.,2007；Garcia et al.,2013；Ottaviani et al.,2016;Ottaviani et al.,2018)。比如，健康青年男性暴露在长期压力下，会出现腹部肥胖和代谢综合征的早期症状，糖化血红蛋白、胰岛素和甘油三酯/高密度脂蛋白比值的升高，心率升高，收缩压增加。这表明，即使在控制饮食和养成锻炼习惯之后，长期和持续的应激也会对身体健康造成不良影响，使机体难以恢复到应激前的水平（Stefan Branth et al.,2007）。一项研究考查了环境在应激恢复中的作用，结果发现在经历应激之后，观看自然环境的人血压更低，恢复更彻底，在恢复后进行的数学任务中表现也更好（Parsons et

al.,1998）。动物研究也表明，上下级关系引起的社会压力与下级(次)雄性大鼠体重下降和身体成分改变有关。研究对每只大鼠的体重(BW)、身体组成和相关的内分泌测量进行了研究，结果表明，社会主从关系导致的慢性应激中 BW、身体成分和内分泌指标的变化，在反复的应激和恢复周期后仍持续存在，最终导致内分泌代谢紊乱和肥胖（Kellie et al.,2007）。

同时，应激恢复速度也是一个关键因素。经历应激后，生理系统快速、彻底的恢复对机体的身心健康具有保护作用(Brosschot，Gerin，Thayer，2006; McEwen，2007; Waughaet al.,2010) 。能够快速从应激中恢复的个体，比恢复更慢的个体拥有更好的健康状况（Lü,W et al.,2016）。由于个体差异的原因，一些个体在应对应激时有良好的适应能力和策略，能更快的从刺激事件中恢复 (吕薇,2014)。也有一部分个体，由于应对方式或人格特质等原因，应激源所致的威胁感继续存在，或者躯体仍然像存在着威胁那样进行反应，抵御就会持续下去，必需的适应能力可能耗尽最后出现崩溃。这时人们会被自身的防御力量所损害，导致疾病（吕薇，2017）。比如，静息性呼吸窦性心律失常（RSA）、血压（BP）以及心率（HR）与高血压、冠心病等心血管疾病密切相关，应激后心率、血压等生理指标恢复较快的个体意味着患心血管疾病的几率更低，拥有更健康的身心状态（W. Lindent et al.,1997）。研究人员对 73 名年龄 18 到 20 岁的被试进行了为期三年的纵向研究，实验开始对被试进行了一系列心理生理应激，如冷压、心算、止血带压迫、转圈运动和爬楼梯等测试，获得了他们的血压和心率数据，后期持续收集被试 3 年的血压和心率数据。回归分析表明，在对初始血压、初始年龄、初始体重指数、性别、父母高血压病史、随访时间进行控制发现，应激后的心率恢复速度可以预测个体 3 年后的心血管健康状况，恢复较慢的个体罹患心血管疾病的概率远大于恢复较快的个体(Stewart& France,2001)。Schuler 和 Brien 采用元分析对 69 项研究结果进行再分析，评估各种高血压危险因素(如种族、缺乏锻炼)对心血管应激恢复的影响。研究发现，应激后收缩压恢复慢，人们随后患高血压的概率就增加(Schuler & Brien,1997)。Steptoe 等人对 209 名 45-59 岁的被试进行了 3 年的纵向研究，发现在应激反应相同的人当中，恢复速度较慢的人患高血压的风险更大；在控制了初始反应后，恢复的预测作用仍然存在(Steptoe et al.,2005)。

4 影响应激恢复的因素

如前所述，应激恢复的速度和程度影响个体的身心健康。造成人们恢复不同的因素有多种，包括人格特质、环境、睡眠、遗传、消极元认知、情绪状态等。

4.1 人格特质的影响

应激恢复速度受到人格特质的影响。具有积极乐观的人格特质和具有良好应对策略的个体应激恢复速度较快，而具有消极人格特质的个体恢复速度更慢（Tugade& Fredrickson,2004；Papousek et al.,2010；Thayer,et al.,2012；Lü,W et al.,2016）。Papousek 等人对 65 名学生在接触学业压力之前、期间和之后的心率、低频率和高频率心率变异性、血压和主观感受的压力水平进行了研究。结果表明特质积极情绪越高，在经历应激后不论是在主观问卷还是客观心血管指标上都表现出更彻底的恢复(Papousek et al.,2010)。在一项对不同情绪唤醒状态下的心率变异性(HRV) 和呼吸性窦性心率不齐(RSA) 的研究中表明：观看完高唤醒恐惧视频后，再观看快乐视频会加速由于观看恐惧视频引起的 SNS 系统生理指标向基线恢复的速度（王振宏，李娜，2012)。研究者还考察了被试从两次不同的应激源(即公开演讲和心算)中恢复生理指标和生理适应能力的个体差异。主观和生理数据收集来自七个实验阶段:基线、应激预期 1、应激 1、应激后 1、应激预期 2、应激 2 和应激后 2。结果表明，与低特质心理弹性的人相比，高特质心理弹性的人在第一次和第二次应激预期暴露后表现出更完全的心率(HR)、收缩压和舒张压(SBP, DBP)恢复；与特质适应性低的人相比，特质适应性强的人表现出更高的 RSA，同时在第一次和第二次应激预期暴露后 RSA 恢复得更彻底(Lü,W et al.,2016；Fredrickson &Barrett,2004)。人格的开放性越高，第一次应激暴露后 HR 和呼吸性窦性心律不齐(respiratory sinus arrhythmia，RSA)恢复越好，这表明外向者对反复出现的社会压力表现出更强的适应性生理反应，这可能有利于他们的健康(Lü et al.,2016; Lü and Wang,2016)。根据中国美德问卷（ Chinese Virtues Questionnaire ，CVQ）和 96 项自我报告的性格优势三维模型（96-item self-reported three-dimensional model of character strengths）得分将 30 名大学生分为高(n = 15)和低(n = 15)性格优势组进行了公众演讲和心算任务。收集了三个实验阶段(即基线、应激暴露和应激后)的主观心理压力（状态焦虑问卷）和生理数据（血压、心率）。结果表明，尽管在基线和应激暴露时高低性格优势组都表现出相似的心血管觉醒模式，但在应激后高性格优势的个体表现出向基线水平的快速心血管恢复。可见高性格优势是一种应激保护因素，使人能够在心理和生理上适应应激(Li et al.,2017)。这些研究表明，具有积极人格特质的人在遭遇应激事件后调节和适应能力更好。具有积极心境的个体对应激事件的处理有较大灵活性(Davydov et al.,2010;Hu et al.,2015)，心理韧性高的人也能更快从应激事件中恢复（Tugade& Fredrickson,2004)。

相反，消极人格特质通常会使人们从应激中恢复更慢。比如，研究调查了 99 名正常被

试的特质宽恕与心血管反应性(CVR)和恢复之间的关系。在 10 分钟的基线期、4 分钟的愤怒回忆任务和 4 分钟的连续减法任务以及 20 分钟的恢复期收集被试心率和血压数据。结果表明较低的特质宽恕水平预示着较高的舒张压(DBP)基线和更慢的 DBP 恢复(Friederg et al.,2007)。在 Stewart 等人为期三年的纵向研究中发现，心血管的反应和恢复速度与被试的人格特质有关，高特质焦虑的个体在进行一系列的生理、心理应激实验任务后，更难从应激中恢复，恢复的时间比低特质焦虑的个体更长(Stewart, France..2001)。个体的高认知固执(perseverative cognition, PC)水平可能会增加恢复到基线以下的过程的时间，从而增加未来心血管患病几率。一项实验对 60 名被试进行的静息基线血压和心率测量，然后让被试参加了两项愤怒回忆任务。在每个任务之后，被试安静地坐着进行 12 分钟的恢复，结果表明那些倾向于思考过去引起愤怒事件的个体，由于持续的血压升高，他们的血压和心率恢复到基线的速度变得很慢，心血管器官受损的风险更大，当无法用干扰物打断其思考过程时，这种影响会加剧(Gerin et al.，2006)。有研究对被试进行为期 6—7 天的日常压力事件、忧虑发作、负面影响和躯体不适的在线记录分析。结果表明认知固执水平高的个体在日常生活中更容易出现生理上的不适和疾病，认知固执水平还可预测躯体不适的症状发生几率，并且它还是应激事件对躯体不适的影响的中介(Verkuil et al., 2012;Studer et al., 2019)。

4.2 环境的影响

从应激和从精神疲劳中恢复与置身于自然环境有关，置身良好自然环境对觉醒或激活认知水平以及缓解认知负荷都有积极的影响。唤醒理论(Arousal theories)（Berlyne et al., 1971; Meharaian et al.,1974）指出，在唤醒水平低的环境中，应激后的恢复速度会更快。由于自然环境具有比城市环境更低的唤醒特性，因此相对城市环境它们能更好的促进恢复（van den Berget al.,2007;Tyrvainen et al.,2014）。Ulrich 的压力缓解理论 （Stress Reduction Theory, SRT)认为，接触自然有助于心理生理应激的恢复，从而减少应激带来的负面影响，使身心更健康（Ulrich et al.,1984，1991；Diette et al.,2003；Hartig et al.,2004；Bratman et al.,2012；Elham Emamia et al.,2018）。在 Elham 等人的研究中检验了自然环境对癌症患者（无论生理还是心理都经历了重大应激）预后及身心恢复过程中的积极影响。在伊朗哈马丹的一所具有两种不同观点(自然观和非自然观)的教育中心对 80 名癌症患者进行了研究。观察自然景观者(自然组)和不观察自然景观者(无自然组)分别进行状态-特质焦虑量表(STAI)和疼痛视觉模拟量表(VAS)的问卷调查。两组在疼痛和焦虑方面进行了比较。结果显示观察自然风景的住院病人比不观察自然风景的住院病人焦虑和疼痛更少，生活质量更高（Elham et al.,2018）。为了验证自然环境可以促进由于应激导致的情绪、注意力和

生理方面的负面影响的恢复这一假设，120 名被试首先看了一部负性情绪电影，然后随机分组观看六种不同的自然和城市环境影片。同时记录一系列生理测量:心率、肌肉张力、皮肤电导和脉搏传输时间以及血压以及被试的自我报告。结果表明，应激导致的生理指标升高和主观情绪报告在自然环境中比在城市环境中恢复得更快更彻底。即自然的恢复性影响包括向更积极的情绪状态的转变，生理活动水平的积极变化（Roger et al., 1991）。研究还发现，即使没在真实自然环境下，在工作场所、医疗机构中使用自然替代物(人造植物、盆栽植物)或模拟自然场景（自然图片、电影、幻灯片)，都可以提升恢复效果，改善缺失自然环境造成的不良情绪和减少生理压力（Van den Berg et al.,2003;De Kort et al.,2006；Valtchanov et al.,2010; Villani et al.,2007；Taylor et al.,2015；Karin et al.,2018）。比如，Karin 的研究使用虚拟现实(VR)分散注意力以用于急性疼痛管理。测试了与自然虚拟现实的交互如何影响当下体验和一周后回忆的疼痛。实验 1 采用实验室疼痛任务(冷压任务)，实验 2 对接受牙科治疗的被试采用随机对照试验。在实验 1 中，自然(海岸)虚拟现实组被试与非虚拟现实组被试相比，明显减少了疼痛的经历和回忆。在研究 2 中，与城市 VR 和标准护理相比，自然(海岸)VR 也显著减少了牙科患者对疼痛的经历和回忆（Karin et al.,2018）。综上所述，这些研究表明，自然环境可以通过不同的方式来改善人们的日常生活压力，利于人们的生理和心理恢复，提高其生活质量。

4.3 睡眠质量的影响

睡眠是恢复精力和补充心理生理资源的必要条件，是重要的恢复窗口(Porkka et al.,2003；Nédélec et al.,2015)。良好睡眠能够促进应激恢复，反之则会延迟恢复，给个体的身心健康带来不良后果。比如，前一晚的睡眠质量高可以降低消极情绪和疲劳程度，让人在早上拥有更高程度的积极情绪和平静的心态(Sonnentag et al.,2008)。长期睡眠质量不佳会导致健康严重受损，如免疫功能减退(Bryant et al.,2004)、心脏病(Schwartz et al.,1999)、甚至死亡(Kripke et al.,2002)。有研究探讨了睡眠在青少年日常情感压力恢复过程中的作用，用 Fitbit 设备记录了美国青少年的情绪和压力，并进行了为期两周的日常和睡眠调查。结果表明，睡眠时间与前一天压力的负面情感反应呈正相关，压力相关的负面溢出效应（negative spillover effects ）随着睡眠时间的减少变得更加明显。总睡眠时间和睡眠不足调节了隔天积极影响的“反弹”效应。如某天面对高压力时，由于前一晚有了充足的睡眠，早晨的积极影响往往会使当天的心态调节到低压力水平的常见状态。研究还发现睡眠量可能与夜间情感压力的恢复有关，充足的睡眠能够缓和前一天应激的负面情感反应，随着睡眠时间的减少，与应激相关的负面影响会更大，个体更难从应激中恢复（Chue al

et.,2018)。一项对 24 名荷兰直升机紧急医疗服务(HEMS)飞行员进行的为期半年的调查研究，在他们连续三个白班结束的时候和每天早上轮班之后进行问卷调查以及佩戴 actigraphs 来评估睡眠开始潜伏期、总睡眠时间和觉醒次数。调查问卷涉及工作压力源(工作量、痛苦的连续轮班和工作冲突)、主观睡眠质量和持续性认知，结果表明飞行员在连续轮班后，入睡会延迟，并伴有反复的消极思维；且工作量越大，睡眠质量受损越严重，恢复状况越差，造成恶性循环。这是由于他们难以从工作状态中脱离，而导致的恢复不良(Radstaak et al.,2014)。

4.4 认知模式的影响

Wells 于 1995 年通过广泛性焦虑障碍的概念提出了焦虑的元认知模型，该模型认为个体产生不确定的焦虑是因为个体持有关于焦虑的一系列积极和消极的信念（WELLS A al et.,1996）。这种消极的元认知会加剧和延长情绪反应，对应激的恢复存在负面影响(Wells al et.,1994；Capobianco al et.,2018)。在认知固执的个体中，性别差异也可能是影响恢复的一个因素，Zoccola 等人发现冗思(rumination)和皮质醇浓度之间的关系是由性别和应激源特征决定的，冗思的男性和女性出现了不同的皮质醇模式，冗思男性最初皮质醇反应大，女性的皮质醇反应持续时间更长，恢复更慢(Zoccola et al.,2015；Ji et al.,2016)。在对工作压力的研究中发现，缺乏恢复导致长期不健康的状况在性别上并不相同(Eek et al.,2012)。最近的一项研究也表明，在面对不同的应激源时，男女的恢复水平存在差异（Y.Qin et al.,2019）。

4.5 其他因素

遗传因素也可以影响应激恢复效果。比如，一项对父母患有心脏疾病的大学生的应激研究发现，父母患有心脏疾病的人从应激恢复到基线水平的速度显著慢于父母没有心脏疾病的大学生，而两组被试在应激反应性上没有差异(Gerin. Pickering, 1995)，这说明应激反应性相同的个体未来出现健康水平的差异，很有可能是因为恢复不同引起的。另一项评估急性应激对有高血压家族史的正常血压个体心脏自主调节的影响研究，选取 60 例 18 ~ 24 岁健康男性被试，其中父母有高血压组 30 例，父母无高血压组 30 例。分别在被试进行了心算压力任务(MAST)前、中、恢复期测定 HRV。对两组 HRV 进行比较结论表明，与父母没有高血压组的被试相比有高血压亲代病史的正常男性由于急性精神压力导致交感神经兴奋过度、迷走神经抑制和自主平衡恢复延迟，导致恢复期 HRV 较低（Vishnu L et al.,2019）。

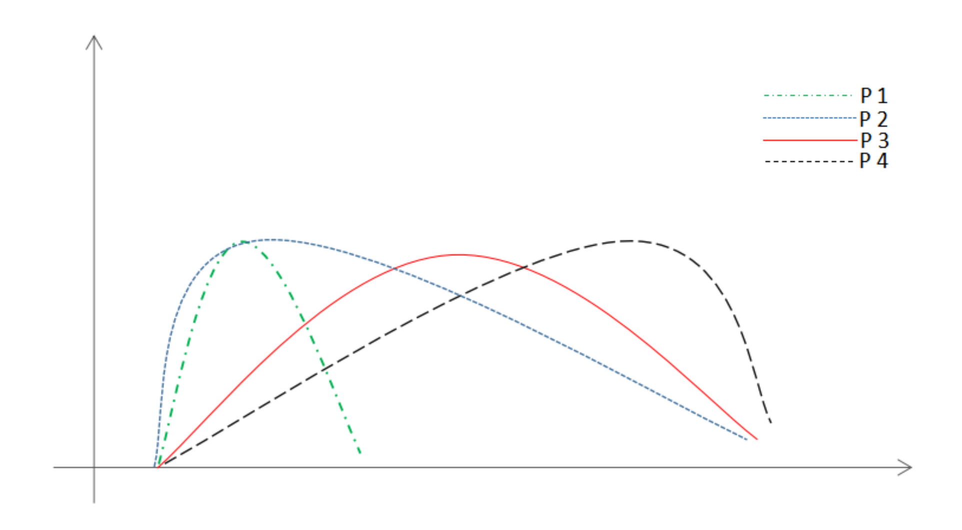
情绪状态和情绪调节能力对应激恢复的影响，自我报告的特质积极情绪(positive affect PA)对应激恢复有促进作用，特质 PA 可以积极影响客观的健康结果(Robles et al.,2009；吕薇,2014)。情绪调节能使个体的应激反应恢复到最初的稳态状态(Dimitrov et al.,2018)。情绪

调节还被证明在保护个体免受各种精神病理痛苦方面起着重要的作用，包括与物质有关的紊乱、焦虑和抑郁（Aldao et al.,2010；Waugh et al.,2012）。

5 未来研究展望

对于恢复的计算方法，不同的实验室使用不同的计算公式，并且研究者主观判断选取时间点进行计算，所使用的不同公式通常没有在文章中明确阐述或列出，从而无法对研究结果进行比较（Pruessner et al.,2003）。从现有的计算方法来看，曲线下面积可以得到一个直观有效的测量值，对连续测量数据来说是一个很好的计算方式，但是需要利用频繁的采样间隔进行密集的采样，才能获得最大的测试数据可靠性。所以对于皮质醇和血压这样的生理指标来说可能不是最佳的测量方式；即使目标生理参数(不仅限于血压)可以使用合适的仪器以频繁的时间间隔测量，AUC 还会受到遗留效应的影响(Nichlas,et al.,2000；Yukihiro Sawada • Yuichi Kato 2009，2011)，但是使用平均恢复率可以避免这个问题。而群体药代动力学模型是最新提出的，目前没有见到有研究使用。在这些常用的方法中，我们认为曲线拟合是一个很好的计算方法，既考虑了随时间变化的指标间信息，也考虑了整个面积的大小直观的信息，而且曲线拟合导出的参数比从更常规的恢复评估方法中获得的参数具有的可靠性。

另一方面，前人研究大多关注了 SNS 系统的恢复，对 HPA 轴的恢复情况关注很少。作为应激反应中的慢系统，也含有恢复的过程。我们认为，对 HPA 轴的恢复，应该关注不同个体在应激源之后存在的反应模式。初步可以归纳为四种模式（如图 2 所示）：一是反应快恢复快，二是反应快恢复慢，三是反应慢恢复快，四是反应慢恢复慢。我们应该重点探讨这四种不同反应模式的个体在身心健康上的差异。希望可以通过曲线拟合计算出不同的个体在同样的应激源下存在的不同反应模式，哪一类反应模式最利于长期的生理心理健康，以便继续关注和进一步的研究，对应激的预后进行干预。



P1 代表应激后反应速度快，恢复速度也快的群体；P2 代表反应速度快，恢复速度慢的群体；P3 表示反应速度慢，恢复速度也慢的群体:P4 代表反应速度慢，但恢复速度快的群体。

图 2 不同应激反应和应激恢复模式模拟图

参考文献：

Selye H. Stress and the General Adaptation Syndrome*[J]. 1950, 1(4667):1383-1392.

Roy M P , Kirschbaum C , Steptoe A . Psychological, cardiovascular, and metabolic correlates of individual differences in cortisol stress recovery in young men[J]. Psychoneuroendocrinology, 2001, 26(4):375-391.

Smyth N , Thorn L , Oskis A , et al. Anxious attachment style predicts an enhanced cortisol response to group psychosocial stress[J]. Stress (Amsterdam, Netherlands), 2015, 18(2):1-6.

任曦、王妍、胡翔、杨娟，社会支持缓解高互依自我个体的急性心理应激反应。心理学报 2019，Vol.51,No.4,497-506

Juster R P , Perna A , Marin M F , et al. Timing is everything: Anticipatory stress dynamics among cortisol and blood pressure reactivity and recovery in healthy adults[J]. Stress (Amsterdam, Netherlands), 2012, 15(6):569-577.

Soeda R , Tasaka A , Sakurai K . Influence of chewing force on salivary stress markers as indicator of mental stress[J]. Journal of Oral Rehabilitation, 2012, 39(4):261-269.

Sawada Y , Kato Y . How carryover has an effect on recovery measures related to the area under the curve: theoretical and experimental investigations using cardiovascular parameters[J]. Medical & Biological Engineering & Computing, 2011, 49(3):297-304.

Miller R , Wojtyniak J G , Weckesser L J , et al. How to disentangle psychobiological stress reactivity and recovery: A comparison of model-based and non-compartmental analyses of cortisol concentrations[J]. Psychoneuroendocrinology, 2017:S0306453017312210.

Fekedulegn, D. B., Andrew, M. E., Burchfiel, C. M., Violanti, J. M., Hartley, T. A., Charles, L. E., & Miller, D. B. (2007). Area under the curve and other summary indicators of repeated waking cortisol measurements. Psychosomatic Medicine, 69(7), 651–659.

Sawada Y , Kato Y . Mean recovery rate: A simple measure of recovery uncontaminated by the carryover effect[J]. Japanese Psychological Research, 2009, 51(4):274-278.

Jennifer E.Khoury， Andrea Gonzalez, Robert D.Levitan, Jens C.Pruessner, Kevin Chopra,Vincenzo Santo Basile, Mario Masellis, Alasdair Goodwill:Summary cortisol reactivity indicators: Interrelations and meaning[J]. Neurobiology of Stress, 2015, 2:34-43.

Watamura S E , Donzella B , Kertes D A , et al. Developmental changes in baseline cortisol activity in early childhood: Relations with napping and effortful control[J]. Developmental Psychobiology, 2004, 45(3):125-133.

Fekedulegn D B , Andrew M E , Burchfiel C M , et al. Area Under the Curve and Other Summary Indicators of Repeated Waking Cortisol Measurements[J]. Psychosomatic Medicine, 2007, 69(7):651-659.

Pruessner J C , Kirschbaum C , Meinlschmid G , et al. Two Formulas for Computation of the Area Under the Curve Represent Measures of Total Hormone Concentration Versus Time-Dependent Change[J]. Psychoneuroendocrinology, 2003, 28(7):916-931.

Key B L , Campbell T S , Bacon S L , et al. The influence of trait and state rumination on cardiovascular recovery from a negative emotional stressor[J]. Journal of Behavioral Medicine, 2008, 31(3):237-248.

Pelin Genc &Teena Hassan ： Analysis of Personality Dependent Differences in Pupillary Response and its Relation to Stress Recovery Ability2019 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops)

段海军 王雪微 王博韬 王彤星 张心如 王子娟 胡卫平：急性应激：诱发范式、测量指标及效果分析。心理科学进展 2017, Vol. 25, No. 10, 1780–1790

Studer, R. K., Nielsen, C., Klumb, P. L., Hildebrandt, H., Nater, U. M., Wild, P., et al. (2019). The mediating role of mood in the relationship between perseverative cognition, sleep and subjective health complaints in music students. Psychology & health, 34(6), 754-770.

Verkuil, B., Brosschot, J. F., Meerman, E. E., Thayer, J. F. (2012). Effects of momentary assessed stressful events and worry episodes on somatic health complaints. Psychology & Health, 27(2), 141-158.

Y . Qin, W. Lü, B.M. Hughes, et al., Trait and state approachmotivated positive affects interactively influence stress cardiovascular recovery, International Journal of Psychophysiology(2019), https://doi.org/10.1016/ j.ijpsycho.2019.08.011

Nédélec, M., Halson, S., Abaidia, A., Ahmaidi, S., Dupont, G. (2015). Stress, sleep and recovery in elite soccer: a critical review of the literature. Sports Medicine, 45(10), 1387-1400.

Brindle, R. C., Ginty, A. T., Phillips, A. C., Carroll, D. (2014). A tale of two mechanisms: A meta-analytic approach toward understanding the autonomic basis of cardiovascular reactivity

to acute psychological stress. Psychophysiology, 51(10), 964-976.

Clancy, F., Prestwich, A., Caperon, L., O'Connor, D. B. (2016). Perseverative cognition and health behaviors: A systematic review and meta-analysis. Frontiers in human neuroscience, 10, 534.

吕海姣, 严壮志, 陆维嘉. 一种基于脉搏波的无创连续血压测量方法[J]. 中国医疗器械杂志, 2011(03):18-22.

车文博, 张林, 黄冬梅, et al. 大学生心理压力感基本特点的调查研究[J]. 应用心理学, 2003(03):3-9.

Steptoe A , Marmot M . Psychosocial, Hemostatic, and Inflammatory Correlates of Delayed Poststress Blood Pressure Recovery[J]. Psychosomatic Medicine, 2006, 68(4):531-537.

龚兰生, 刘力生. 血压昼夜变异及其临床意义[J]. 中华心血管病杂志, 1994(5):323-324.

刘增丁. 基于心电与脉搏波信号的无创连续血压测量方法研究[D]. 重庆大学.

Pruessner, J.C. 2011.Investigation into the cross-correlation of salivary cortisol and alpha-amylase re sponses to psychological stress. Psychoneuroendocrinology 36, 1294-1302. https://doi.org/10.1016/1.psyneuen.2011.02.018.lth. Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 36(2), 747-756.

Thayer, J. F., Åhs, F., Fredrikson, M., Sollers III, J. J., Wager, T. D. (2012). A meta-analysis of heart rate variability and neuroimaging studies: implications for heart rate variability as a marker of stress and heaEngert, v., Vogel, S., Efanov, S.1., Duchesne, A., Corbo, V., All, N.,

Gill. W , 汤仲明. 非房室和房室模型分析在临床药动学的比较[J]. 国外医学:药学分册, 1992,

Papousek, I., Nauschnegg, K., Paechter, M., Lackner, H. K., Goswami, N., & Schulter, G. (2010). Trait and state positive affect and cardiovascular recovery from experimental academic stress. Biological Psychology, 83(2), 108–115.

Stewart J C , France C R . Cardiovascular recovery from stress predicts longitudinal changes in blood pressure[J]. Biological Psychology, 2001, 58(2):0-120.

Schuler J L H , O'Brien W H . Cardiovascular recovery from stress and hypertension risk factors: A meta-analytic review[J]. Psychophysiology, 1997, 34(6):649-659.

王振宏, 李娜. 积极情绪加速心血管反应恢复的自主神经活动机制[J]. 心理科学, 2012(05):25-31.

Michele, M, Tugade,等. Psychological Resilience and Positive Emotional Granularity: Examining the Benefits of Positive Emotions on Coping and Health[J]. Journal of Personality, 2004.

Lü, Wei, Wang Z , You X . Physiological Responses to Repeated Stress in Individuals with High and Low Trait Resilience[J]. Biological Psychology, 2016:S030105111630271X.

Bart Verkuila*, Jos F. Brosschota, Esther E. Meermana &, ThayerBJ F . Effects of momentary assessed stressful events and worry episodes on somatic health complaints[J]. Psychology & Health, 2012, 27(2):p.141-158.

Studer R K , Nielsen C , Klumb P L , et al. The mediating role of mood in the relationship among sleep, perseverative cognition and subjective health complaints in musicians[J]. Psychology & Health, 2019:1-17.

Gerin W , Davidson K W , Christenfeld N J S , et al. The Role of Angry Rumination and Distraction in Blood Pressure Recovery From Emotional Arousal[J]. Psychosomatic Medicine, 2006, 68(1):64-72.

Friedberg J P , Suchday S , Shelov D V . The impact of forgiveness on cardiovascular reactivity and recovery[J]. International Journal of Psychophysiology, 2007, 65(2):0-94.

Elham E , Roya A , Ghasem M . The effect of nature as positive distractibility on the Healing Process of Patients with cancer in therapeutic settings[J]. Complementary Therapies in Clinical Practice, 2018, 32:70-73.

Tanja-Dijkstra K , Pahl S , White M P , et al. The Soothing Sea: A Virtual Coastal Walk Can Reduce Experienced and Recollected Pain[J]. Environment & Behavior, 2018, 50(6):599-625.

Berman, M. G., Jonides, J., & Kaplan, S. (2008). The Cognitive Benefits of Interacting With Nature. Psychological Science, 19(12), 1207–1212.

Kaplan, S. (1995). The restorative benefits of nature: Toward an integrative framework. Journal of Environmental Psychology, 15, 169–182.

Yoshino K , Matsuoka K . Effect of mood during daily life on autonomic nervous activity balance during subsequent sleep[J]. Autonomic Neuroscience Basic & Clinical, 2009, 150(1-2):0-149.

Trinder, J., 2007. Cardiac activity and sympathovagal balance during sleep. Sleep Med. Clin. 2, 199–208.

Radstaak M , Geurts S A E , Beckers D G J , et al. Work Stressors, Perseverative Cognition and Objective Sleep Quality: A Longitudinal Study among Dutch Helicopter Emergency Medical Service (HEMS) Pilots[J]. Journal of Occupational Health, 2014, 56(6):469-477.

Chue A E , Gunthert K C , Kim R W , et al. The role of sleep in adolescents\" daily stress recovery: Negative affect spillover and positive affect bounce-back effects[J]. Journal of Adolescence, 2018, 66:101-111.

Shivakumar J , Shenoy J P , Antin G S . Mental stress reactivity and post stress recovery of cardiovascular parameters in an Indian late adolescent population[J]. Research Journal of Pharmaceutical Biological & Chemical Sciences, 2012, 3(4):1224-1230.

Steptoe A , Marmot M . Impaired cardiovascular recovery following stress predicts 3-year increases in blood pressure[J]. Journal of Hypertension, 2005, 23(3):529-536.

Gerin W , Pickering T G . Association between delayed recovery of blood pressure after acute mental stress and parental history of hypertension[J]. Journal of Hypertension, 1995, 13(6):603-610.

L, V., Shastry, N., & Kishan, A. (2019). Cardiac autonomic modulation in response to stress in normotensive young adults with parental history of hypertension. Journal of Basic and Clinical Physiology and Pharmacology,0(0). doi:10.1515/jbcpp-2019-0153

Ulrich R S , Simons R F , Losito B D , et al. Stress Recovery During Exposure to Natural and Urban Environments. Journal of Environmental Psychology. 11: 201-230[J]. Journal of Environmental Psychology, 1991, 11(3):201-230.

Parsons R , Tassinary L G , Ulrich R S , et al. THE VIEW FROM THE ROAD: IMPLICATIONS FOR STRESS RECOVERY AND IMMUNIZATION[J]. journal of environmental psychology, 1998, 18(2):113-140.

Kellie L K Tamashiro, Mary M N Nguyen, Michelle M Ostrander,等. Social stress and recovery: implications for body weight and body composition.[J]. american journal of physiology regulatory integrative & comparative physiology, 2007, 293(5):1864-74.

Ottaviani, Cristina. Brain-heart interaction in perseverative cognition[J]. Psychophysiology, 2018:e13082.

Ottaviani, C., Watson, D. R., Meeten, F., Makovac, E., Garfinkel, S. N., & Critchley, H. D.

(2016). Neurobiological substrates of cognitive rigidity and autonomic inflexibility in generalized anxiety disorder. Biological Psychology, 119, 31–41.

Garcia, S. E., Tully, E. C., Tarantino, N., South, S., Iacono, W. G., & McGue, M. (2013). Changes in genetic and environmental influences on trait anxiety from middle adolescence to early adulthood. Journal of Affective Disorders, 151(1), 46–53.

Pieper S , Brosschot J F , Rien V D L , et al. Cardiac Effects of Momentary Assessed Worry Episodes and Stressful Events[J]. Psychosomatic Medicine, 2007, 69(9):901-909.

Brosschot J F , Thayer J F . Anger inhibition, cardiovascular recovery, and vagal function: A model of the link between hostility and cardiovascular disease[J]. Annals of Behavioral Medicine(4):4.

Stefan Branth, Gunnar Ronquist, Mats Stridsberg,. Development of abdominal fat and incipient metabolic syndrome in young healthy men exposed to long-term stress[J]. Nutrition Metabolism & Cardiovascular Diseases, 2007, 17(6):427-435.

Roger S. Ulrich, Robert F. Simons, Barbara D. Losito,. Stress recovery during exposure to natural and urban environments[J]. Journal of Environmental Psychology, 1991, 11(3):201-230.

Li T , Duan W , Guo P . Character strengths, social anxiety, and physiological stress reactivity[J]. Peerj, 2017, 5(2):e3396.

Linden W , Earle T L , Gerin W , et al. Physiological stress reactivity and recovery: conceptual siblings separated at birth?[J]. Journal of Psychosomatic Research, 1997, 42(2):117-135.

Moseley J V , Linden W . Predicting Blood Pressure and Heart Rate Change With Cardiovascular Reactivity and Recovery: Results From 3-Year and 10-Year Follow Up[J]. Psychosomatic Medicine, 2006, 68(6):833-843.

Schwartz A R , Gerin W , Davidson K W , et al. Toward a causal model of cardiovascular responses to stress and the development of cardiovascular disease.[J]. Psychosomatic Medicine, 2003, 65(1):22-35.

Abstract

Stress includes two main stages: response and recovery. Stress recovery measurement mainly quantifies the recovery process through the area under the curve, curve fitting, average recovery rate, population pharmacokinetic model and other methods. Stress recovery is closely related to people's physical and mental health. Slow recovery will have an adverse impact on physical and mental health. Personality traits, environment, sleep, cognitive model and other factors will affect stress recovery. Future research can systematically investigate the impact of cognitive models on stress recovery, and pay attention to the physical and mental health of individuals with different recovery models.

Keywords: Acute Stress, Stress recovery, SNS, HPA, curve fitting, Area under curve